

Miloš RIEGER¹

POSOUZENÍ SPOLEHLIVOSTI SPŘAŽENÝCH MOSTŮ NAVRŽENÝCH PODLE EC

Abstract

The article refers to the application of the probabilistic method SBRA (Simulation Based Reliability Assessment) in reliability assessment of composite roadway bridges designed according to Eurocodes. The analysis based on fully probabilistic concept is performed using computer program Anthill™ and realized for both elastic and plastic theory of behaviour. Program outputs are discussed from the point of view of Eurocode specifications.

1 ÚVOD

Zavedení Eurokódů do oblasti navrhování ocelových a spřažených mostů přineslo s sebou také pozměněnou metodiku navrhování. Na rozdíl od starších předpisů lze nyní pro kompaktní průřezy využívat rezervy plastické únosnosti. Spolehlivost průřezu může být posouzena v mezním stavu únosnosti podle plastické teorie, v mezním stavu použitelnosti je pak požadováno ověřit pružný stav konstrukce. Oproti národním ustanovením a některým zvyklostem se Eurokódy vyznačují zcela odlišnou specifikací zatížení včetně dynamického součinitele, odlišně jsou deklarovány také dílčí součinitelé spolehlivosti. Je otázkou, zda tyto rozdíly nemohou ovlivnit také výslednou spolehlivost těchto konstrukcí.

Příspěvek si klade za cíl zmapovat výslednou úroveň spolehlivosti spřaženého mostního průřezu, který je navržen a posouzen v souladu s příslušnými Eurokódy. Zatížení silniční dopravou je uvažováno dle EN 1991 - [5], posouzení je provedeno podle EN 1994 - [6]. Výsledná spolehlivost je stanovena pomocí programu Anthill™ [2], který umožňuje provést komplexní posouzení spřaženého mostního průřezu.

2 NÁVRH PODLE EC

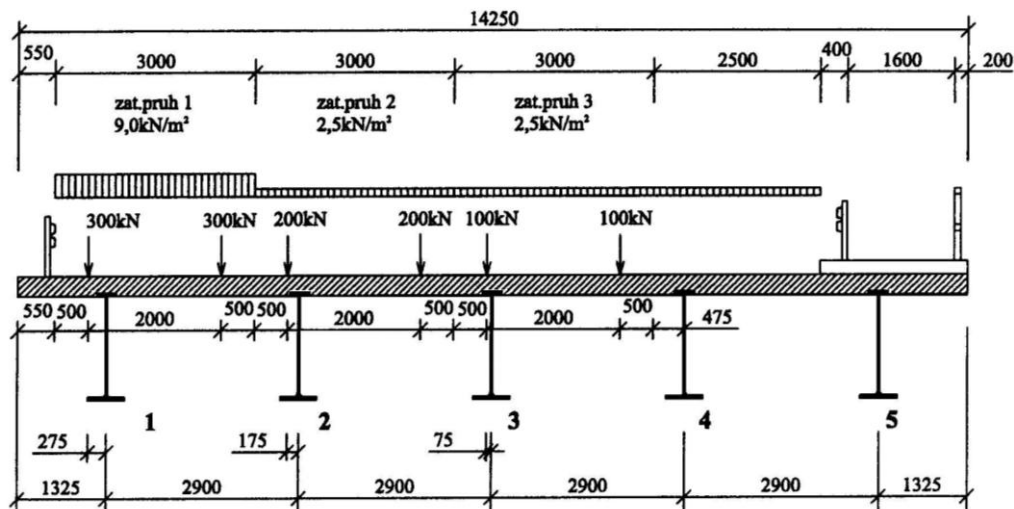
2.1 Zatížení a vnitřní síly

Návrh a posouzení průřezu je demonstrován na příkladu mostu o rozpětí 30 m s příčným uspořádáním dle obr. 1., převzatém z lit. [9]. Návrh bude proveden podle ČSN P ENV 1991-3 [5] a ČSN P ENV 1994-2 [6]. Materiál: ocel S355, beton C 30/37. Most je uvažován bez montážního podepření.

Složky zatížení stálého a nahodilého dlouhodobého jsou odvozeny obvyklým způsobem z dispozičního uspořádání mostu a jeho vybavení. Nově jsou stanoveny krátkodobé účinky zatížení pohyblivého. Modely zatížení silniční dopravou, které jsou deklarovány v lit. [5], nepopisují skutečná zatížení, pouze jejich účinek má vyjadřovat skutečné zatížení. Současně se předpokládá, že dynamické zvětšení účinků zatížení (dynamický součinitel) je již zahrnut v předepsaných modelech zatížení.

Pro návrh dimenzí mostu bude rozhodující Model zatížení 1 podle [5]. Počet a šíři pruhů pak udává tab. 1. Rozhodující momentové namáhání bude určeno pro střed rozpětí nosníku č. 1.

¹ Ing. Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, Ludvíka Podéště 1875, 708 00 Ostrava – Poruba, tel. (+420) 59 732 1349, e-mail milos.rieger@vsb.cz.



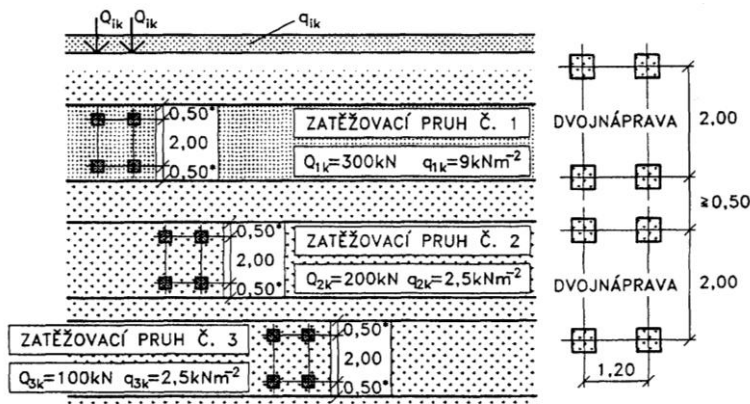
Obr.1 Příčné uspořádání mostu a stanovení nejúčinnějšího zatížení pro nosník č. 1.

Tab.1 Počet a šířka zatěžovacích pruhů dle ČSN P ENV 1991-3.

Šířka vozovky w	Počet zatěžovacích pruhů	Šířka zatěžovacího pruhu	Šířka zbývající plochy
$w < 5,4 \text{ m}$	$n_l = 1$	3 m	$w - 3 \text{ m}$
$5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	$n_l = 2$	$\frac{w}{2}$	0
$6 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right)$	3 m	$w - 3 \times n_l$

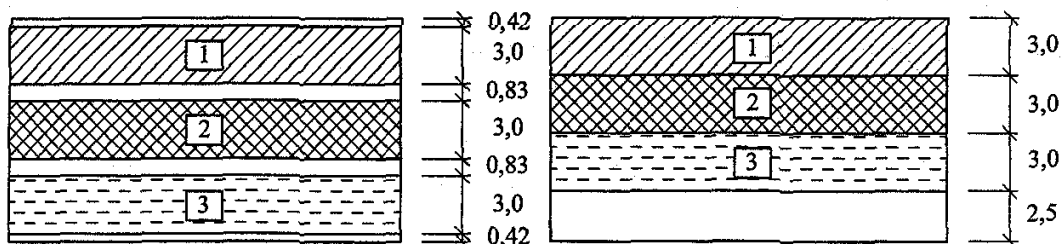
Tab.2 Základní hodnoty Modelu zatížení 1 dle ČSN P ENV 1991-3.

Umístění	Dvojnáprava	Rovnoměrné zatížení
	Nápravové síly Q_{ik} [kN]	q_{ik} (nebo q_{rk}) [kNm^{-2}]
Pruh č. 1	300	9
Pruh č. 2	200	2,5
Pruh č. 3	100	2,5
Ostatní pruh	0	2,5
Zbývající plocha (q_{rk})	0	2,5



Obr.2 Model zatížení 1.

Na vozovku uvažovaného mostu je možno umístit tři zatěžovací pruhy šířky 3m. Pruhy mohou být umístěny podle obr. 2 a 3.



Obr.3 Rozmístění zatěžovacích pruhů na mostě.

Návrhový moment na nosníku č.1, včetně součinitelů spolehlivosti a uvažovaných regulačních součinitelů pro posouzení v mezním stavu únosnosti, lze vyjádřit:

$$M_1 = \gamma_G (M_{g1} + M_{g2}) + \gamma_Q (\alpha_Q M_{pQ} + \alpha_q M_{pq}) = \quad (1)$$

$$= 1,35 (2903 + 855) + 1,35 (0,9.3561 + 1,0.2076) = \underline{12\,202,5 \text{ kNm}}$$

Pro posouzení pružného stavu v mezním stavu použitelnosti je požadováno zohlednit účinky smršťování a dotvarování a také vliv nestejnoměrného oteplení. Smršťování a dotvarování bylo uvažováno v souladu s [7]; pro dotvarování se předpokládá, že dlouhodobé zatížení začne působit 2 měsíce po vybetonování desky mostovky.

Pro ocelobetonový most s deskou tloušťky 300 mm a vrstvou vozovky 100 mm by se mělo uvažovat nerovnoměrné zatížení teplotou podle ČSN P ENV 1991-3. Pro účinky teploty se uvažuje součinitel zatížení 1,5 a součinitel kombinace pro mezní stav únosnosti $\psi_0 = 0$ a pro mezní stav použitelnosti $\psi_0 = 0,6$. Zatížení teplotou se uvažuje jako krátkodobé zatížení.

2.2 Součinitelé materiálů

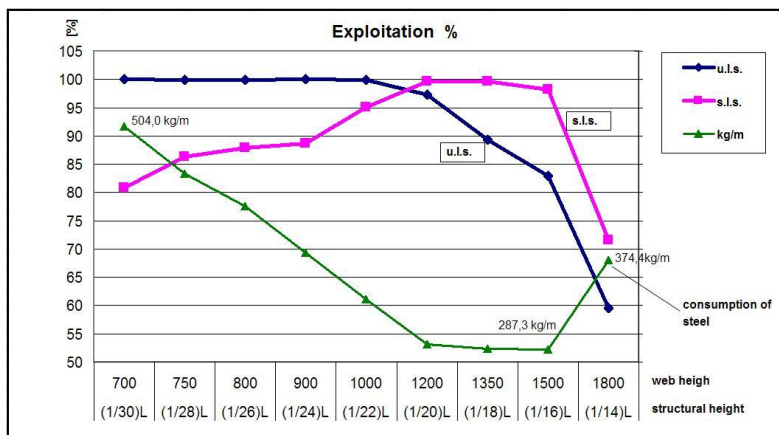
Nové evropské normy pro ocelové a sprážené mosty [8], [6] umožňují použít v mezním stavu únosnosti součinitel spolehlivosti pro konstrukční ocel $\gamma_{Mo} = 1,0$, který platí pro ocel v tahu, nebo v tlaku pro průřezy třídy 1, 2 a 3, viz tab. 3.

Tab.3: Dílčí součinitele bezpečnosti pro únosnosti a vlastnosti materiálu.

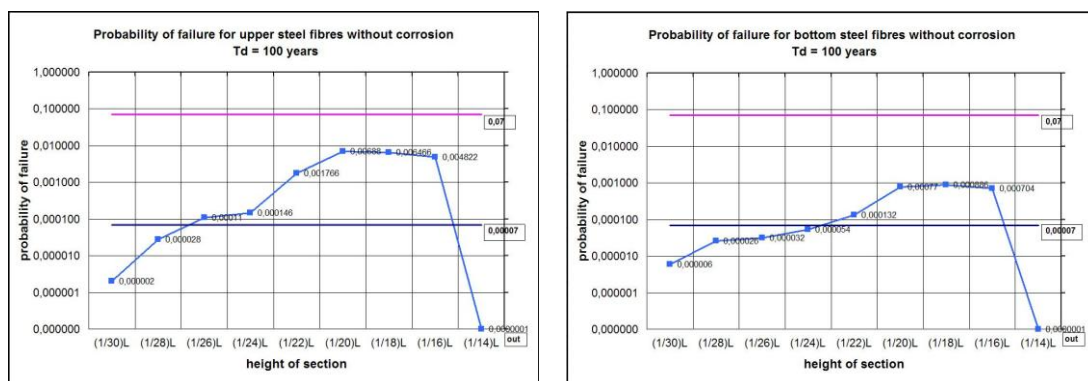
Kombinace	Konstrukční ocel		Beton	Betonářská výztuž a předpínací kabely	Profilované ocelové plechy
	γ_a	γ_{Rd}	γ_c	γ_s	γ_{ap}
základní	1,0 ⁽¹⁾	1,10 ⁽¹⁾	1,5 ⁽¹⁾	1,15 ⁽¹⁾	1,1 ⁽¹⁾
mimořádná (kromě zemětřesení)	1,1 ⁽¹⁾	1,1 ⁽¹⁾	1,3 ⁽¹⁾	1,1 ⁽¹⁾	1,1 ⁽¹⁾

3 Posudek spolehlivosti metodou SBRA

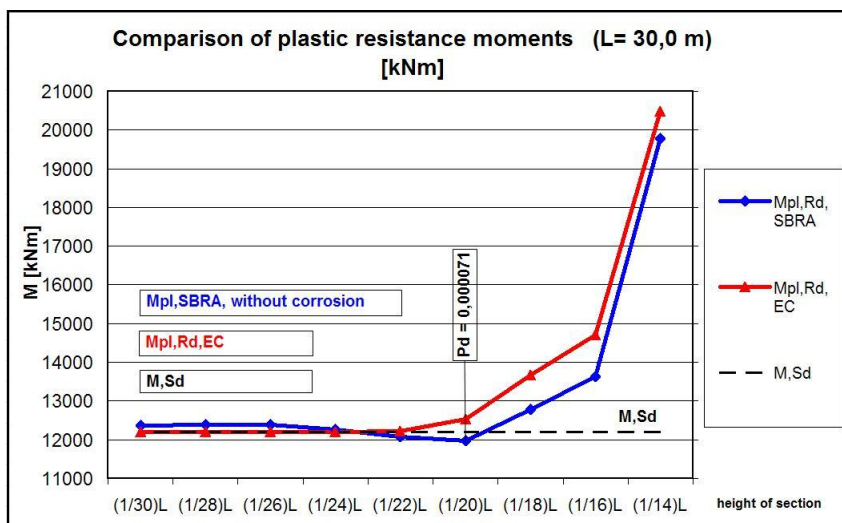
Posouzení spolehlivosti bylo provedeno postupem popsaným např. v [4]. K výpočtu byl využit program AntHillTM, který umožňuje postihnout širokou řadu vstupních údajů náhodného charakteru jako jsou např.: tolerance a úchytky rozměrů, rozptyl materiálových charakteristik, doba trvání a kombinace jednotlivých kategorií zatížení, reologické a degradační časové změny materiálů včetně vlivu okolního prostředí. Na základě těchto vstupů a zvolené referenční úrovně lze pak vyjádřit spolehlivost posuzovaného prvku.



Obr.4 Využití průřezu.



Obr.5 Pravděpodobnost poruchy pro horní a dolní vlákna oceli v mezním stavu použitelnosti.



Obr.6 Porovnání plastických momentů únosnosti v mezním stavu únosnosti.

4 ZÁVĚR

Závěrem lze konstatovat, že plně pravděpodobnostní analýza prokázala, že průřezy, které byly navrženy podle Eurokódů, dosahují požadované spolehlivosti. Výsledky pevnostního posouzení

v mezním stavu použitelnosti (omezení napětí) vykazují rezervu spolehlivosti v celém spektru posuzovaných průřezů (návrhová pravděpodobnost poruchy $P_d = 0,07$), viz obr. 5. Co se týče průběhu plastické momentové únosnosti v mezním stavu únosnosti, pravděpodobnostní posudek vykazuje v oblastech nejvyššího využití materiálu o něco nižší únosnost, než je tomu při návrhu podle EC. Při hodnocení je však třeba vzít v úvahu i použitou metodiku výpočtu, kdy výsledný moment únosnosti byl z výsledného histogramu určen jako 5-ti% kvantil. I v tomto případě bylo zaznamenáno pouze jedno formální překročení návrhové pravděpodobnosti poruchy pro mezní stav únosnosti ($P_d = 0,00007$), a to u průřezu s konstrukční výškou $(1/20)L$: $P_f = 0,000071$, viz obr. 6.

OZNÁMENÍ

Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky. Registrační číslo projektu je 103/07/0557.

LITERATURA

- [1] MAREK P, GUŠTAR M, ANAGNOS T, Simulation-Based Reliability Assessment for Structural Engineers, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1995.
- [2] MAREK P, GUŠTAR M, Computer program AntHillTM (Copyright), Distr. ARTech, Nad Vinicí 7, 143 00 Praha 4, 1989-2001.
- [3] Probabilistic Assessment of Structures using Monte Carlo Simulation. Background, Exercises and Software, Leonardo da Vinci programme, European Commission TeReCo (ISBN 80-86246-19-1), editoři: Pavel Marek, Jacques Brozzetti, Milan Guštar, Paul Tikalsky, 3.12.2003: Ex. 6.24: Rieger, M., Stress distribution and reliability verification of composite cross section of roadway bridges, Ex. 11.15: Rieger, M., Reliability assessment of composite roadway bridges.
- [4] RIEGER M, Vyhodnocení spolehlivosti průřezů spřažených silničních mostů, Sborník VI. konference se zahraniční účastí „Staticko-konstrukční a stavebno-fyzikální problémy stavebních konstrukcí“, Tatranská Lomnica, 24.11.-26.11.2004, Vysoké Tatry.
- [5] ENV 1991-3 Eurokód 1: Zásady navrhování a zatížení konstrukcí - Část 3: Zatížení mostů dopravou, Praha, Český normalizační institut.
- [6] ČSN P ENV 1994-2 (73 2089), Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí-Část 2: Spřažené ocelobetonové mosty, Praha, Český normalizační institut, 1998.
- [7] ČSN P ENV 1992-1-1 (73 1201), Navrhování betonových konstrukcí-Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Praha, Český normalizační institut, 1991.
- [8] ČSN P ENV 1993-2 (73 6205), Navrhování ocelových konstrukcí-Část 2: Ocelové mosty, Praha, Český normalizační institut, 1999.
- [9] ROTTER T, STUDNÍČKA J, Ocelové konstrukce 30, Ocelové mosty, pomůcka pro cvičení, ČVUT, Praha, 2001.

Recenzoval: Doc. Ing. Leo Václavek, CSc.

